ANALISIS PETROFISICOS – TALLER N°2

1. En cuanto a propiedades eléctricas de las rocas; complete las tablas y determine, con base en la ley de Archie, la saturación de agua del yacimiento. Datos: porosidad promedio del yacimiento 23%, factor a = 0.9 (areniscas), Rt = 20 Ohm*m.

   Exponente de cementación: Datos: temperatura de yacimiento 150°F y contenido de NaCl del agua de formación es de 14000 ppm.

$\Phi = 23\% = R_t = R_o$

Muestra No.	Porosidad (%)	Resistencia de la muestra (Ohmios)	Diametro (cm)	Longitud (cm)	(FF) Factor de Formación	(Ro) Resistividad de Muestra 100% Saturada
1	15	1800	3.72	6.4	138,96	30,572
5	20	1500	3.75	6.1	123,45	27,16
8	23	1200	3.78	6.8	92,636	20,38
12	27	960	3.8	5.9	74,113	16,305
16	30	770	3.74	7.5	59,445	13,078

ECUACION DE ARCHIE

$$S_w = \sqrt[n]{\left[\left(\frac{a}{\Phi^m}\right)\cdot\left(\frac{R_{wR}}{R_t}\right)\right]}$$

- Exponente Cementacion
  $m = 1,244$
- Exponente Saturación
  $n = 1,676$

$$S_w = \sqrt[1,676]{\left[\left(\frac{0,9}{0,23^{1,244}}\right)\cdot\left(\frac{0,22}{20}\right)\right]}$$

$$S_w = \sqrt[1,676]{(5,60)\cdot(0,011)}$$

$$S_w = \sqrt[1,676]{[0,0616]}$$

$S_w = 0,189597$

$S_w = 18,96\%$

$U_T = \pi \cdot r^2 \cdot L$

$U_T = \pi (3,72/2)^2 \cdot (6,4) \rightarrow U_T = 69,56.$

$A_T = \pi \cdot r^2$

$A_T = \pi (0,037/2)^2 = 10,87 \times 10^{-4}\ m^2$

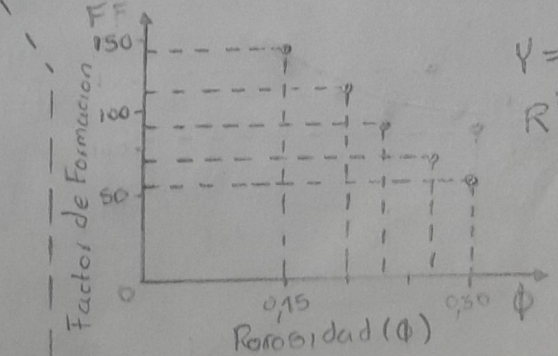
$L = 0,064\ m.$

R_w = Resistividad del Agua de Formacion a Temperatura de yacimiento.

$R_{w,R} = 0,22\ ohm-m$ {temperatura yacimiento 150°F}

{Contenido NaCl 14000 ppm}

$$R_o = \frac{(r_m)\% \cdot (A)\%}{(L)\%} ; R_o = 30,572\ ohm-m$$



$Y = 4441,1 X^{-1,244}$

$R^2 = 0,9237.$

- Factor de Formacion

$$FF = \frac{R_o \rightarrow \text{Datos}}{R_w \rightarrow \text{Carta gen.}} \qquad FF = \frac{30,572\ \Omega/\upsilon}{0,2} \rightarrow \boxed{FF = 138,96.}$$

Exponente de saturación: Datos: diámetro 3.8 cm, longitud 6.0 cm, peso muestra saturada 164.0 gramos, peso muestra seca 155.0 gramos, densidad del agua 1.0 gr/cc, resistencia de la muestra saturada 100% de salmuera: 500 Ohmios.

Presión (psi)	Volumen de agua desplazada acumulada (cc)	Saturación de agua (%)	Resistencia de la muestra (Ohm)	(Rt) Resistividad de la Roca en cada valor Saturación	(RI) Indice de Resistividad Adimensional
1	1	88,89	4000	75,6	8
5	2	77,77	5500	103,93	11
8	3,5	61,11	7200	136,08	14,4
12	4.0	55,56	9400	177,66	18,8
16	5.0	44,45	13200	249,48	26,4
	9.0	0%			

$S_w = \frac{V_p - V_{wd}}{V_p}$

$S_w = \frac{9-1}{9} = 0,8889.$

Diametro: 3,8 cm → 0,038m

Longitud: 6,0 cm → 0,06 m.

$P_w = P_{msat} - P_{mseca}$

$P_w = 164 - 155 \rightarrow \boxed{P_w = 9\,g}$

$P_{muestra\ saturada} = 164,0\ g$

$P_{muestra\ seca} = 155,0\ g$

$\partial_w = 1\ g/cm^3$

$\partial_w = \frac{m_w}{V_w} \rightarrow V_w = \frac{9g}{1\,g/cm^3} \rightarrow \boxed{V_w = 9\,cm^3}$

$A_T = \pi r^2$

$A_T = \pi\left(\frac{0,038}{2}\right)^2 \rightarrow \boxed{A_T = 0,001134\,m^2}$

$\boxed{L = 0,060\,m}$

$R_{muestra\ saturada} = 500$ ohmios 100% en Salmuera

R_t = Resistividad de Roca en cada valor S_w.

R_I = Indice de Resistividad Adimensional

$V_{TW} = 9\,cm^3$

$9\,cm^3$ desplazado → 0% saturacion

Por cada $1\,cm^3$ de agua dezplazado

$9\,cm^3$ – 100%

$1\,cm^3$ – 11,11%

$R_t = \frac{R \cdot A_T}{L}$

$R_t = \frac{4000\ \% \cdot 0,001134}{0,060}$

$\boxed{R_t = 75,6\ ohm-m}$ %

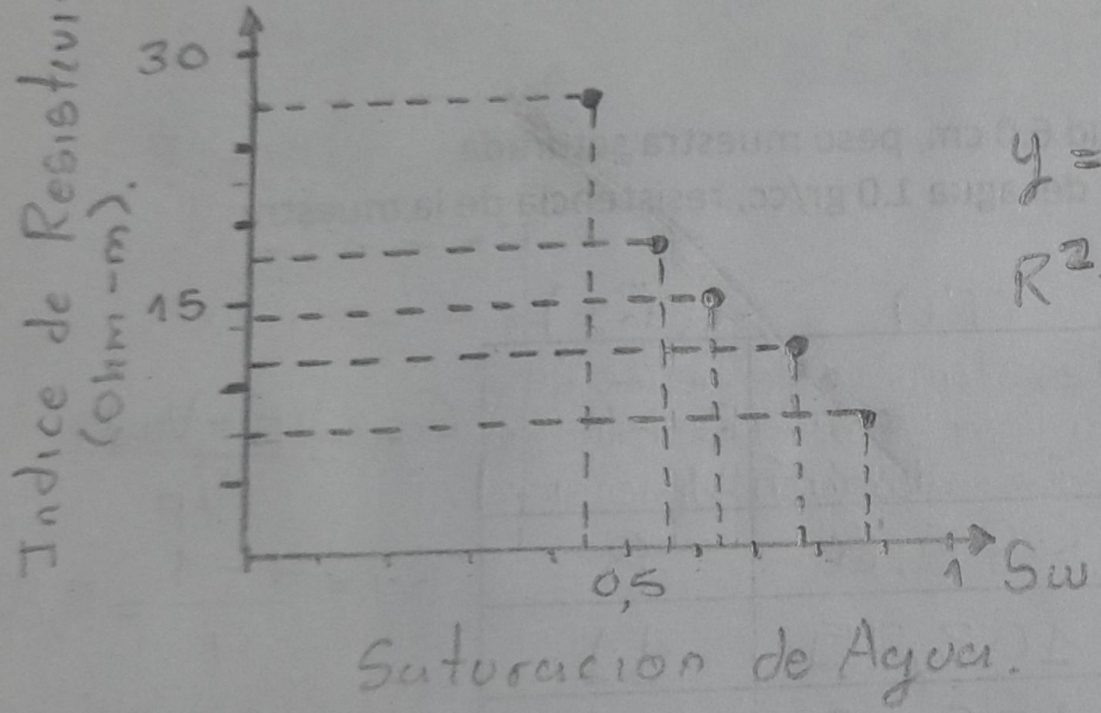
$R_I = \frac{R_t}{R_o}$

$R_I = \frac{75,6}{9,45}$

$\boxed{R_I = 8}$

R_o = Resistividad 100% saturada de Salmuera → $R_o = \frac{R \cdot A_T}{L} \rightarrow R_o = \frac{500 \cdot 0,001134}{0,060}$ (ohm)

$\boxed{R_o = 9,45\ (ohm-m)}$



$y = 15252\, x^{-1,676}$

$R^2 = 0,9876.$

2. En una prueba de mojabilidad a una roca por el método de Amott_Harvey, se obtuvieron los siguientes resultados. complete la tabla.

Diám. (cm)	Long. (cm)	Porosidad (%)	Vol. agua desplazada hasta Swirred (c.c.)	Swirred (%)	Vol. aceite espontaneo (c.c.)	Vol. de aceite forzado (c.c.)	Sor (%)	Vol. de agua espontanea (c.c.)	Vol. de agua forzada (c.c.)	mojabilidad Amott-Harvey
3.75	6.0	28	15.0	19,18	0.3	10.0	53,89	2.4	4.5	-0,32

Diametro = 3,75 cm
Longitud = 6,0 cm
$\Phi = 28\% \rightarrow \Phi = 0,28$

$A_T = \pi r^2$

$A_T = \pi\left(\frac{3,75}{2}\right)^2$

$A_T = \frac{225}{64}\pi \text{ cm}^2$

$V_T = A_T \cdot L$

$V_T = \frac{225}{64}\pi \cdot 6,0$

$V_T = \frac{675}{32}\pi \text{ cm}^3$

$\Phi = \frac{V_p}{V_T} \rightarrow V_p = \Phi \cdot V_T$

$V_p = (0,28)\left(\frac{675}{32}\pi\right)$

$V_p = \frac{189}{32}\pi \text{ cm}^3$

$V_{wirred} = V_p - V_{wdesplazada}$

$V_{wirred} = \left(\frac{189}{32}\pi\right) - (15)$

$V_{wirred} = 3,56 \text{ cm}^3$

- Entonces $S_{wirred} = \frac{V_{wirred}}{V_p}$

$S_{wirred} = \frac{3,56}{\frac{189}{32}\pi}$

$S_{wirred} = 0,1918 \rightarrow S_{wirred}(\%) = 19,18\%$

- Tambien $S_{or} = \frac{V_{o/w} - V_{oesp} - V_{oforz.}}{V_p}$

$S_{or} = \frac{2}{\frac{189}{32}\pi} \rightarrow S_{or} = 0,1078$

$S_{or}(\%) = 10,78\%$

* Indice Ammot al Aceite

$I_o = \frac{V_{wesp.}}{(V_{wesp} + V_{wforz.})}$

$I_o = \frac{2,4}{(2,4+4,5)} \rightarrow I_o = \frac{2,4}{6,9}$

$I_o = 0,347826$

* Indice Ammol al Agua

$I_w = \frac{V_{oesp}}{(V_{oesp} + V_{oforz})}$

$I_w = \frac{0,3}{(0,3+10,0)} \rightarrow I_w = \frac{0,3}{10,3}$

$I_w = 0,0291262$

* Indice Ammot-Harvey

$I = I_w - I_o \rightarrow I = -0,31869$

Cuando $I < 0,3 \rightarrow$ Preferencia al Aceite.

3. Realice la gráfica de Pc Vs Sw con base a los datos adjuntos y determine Swirr y dependiendo de la curva resultante describa algunas propiedades de la roca como selección de granos, permeabilidad y tamaño de los capilares. **Volumen poroso: 21 cc.** calcular la altura en pies sobre el nivel de agua libre a saturación de agua irreducible y plasmarla en el mismo gráfico. La gravedad Api del aceite es de 35° y el agua de formación tiene una salinidad de 35.000 ppm de NaCl.

NOTA: A (PSI) = 0 , Sw = 1

	Presión (psi)	Volumen de agua desplazado (cc)	Saturación de agua Sw (%)	Saturacion de Agua (Sw).
1.	2.0	0.0	100	1
2.	5.0	0.0	100	1
3.	10.0	2.0	90,5	0,905
4.	20.0	5.0	66,7	0,667
5.	50.0	8.0	28,7	0,287
6.	80.0	1.0	23,94	0,2394
7.	100.0	0.0	23,94	0,2394.

Volumen Poroso = 21 cc.

$Sw = \frac{Vw}{Vp}$ →

3. $Sw = \frac{2,0\ cc}{21\ cc}$ $Sw_3 = 0,095238$

4. $Sw = \frac{5,0\ cc}{21\ cc}$ $Sw_4 = 0,2381$

5. $Sw = \frac{8,0\ cc}{21\ cc}$ $Sw_5 = 0,381$

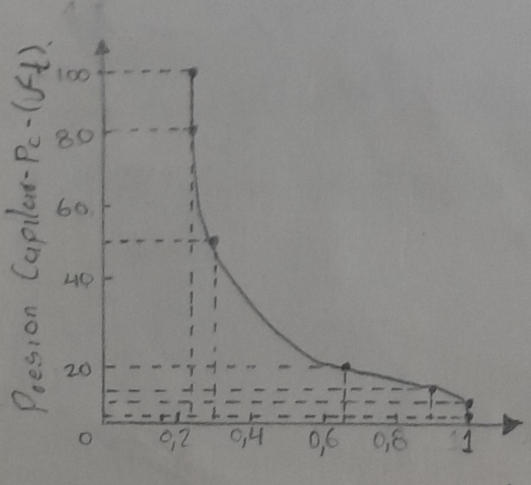
6. $Sw = \frac{1,0\ cc}{21\ cc}$ $Sw_6 = 0,04762.$

Saturacion Inicial (1).

- Entonces $Sw_3 = 1 - Sw_3$; $Sw_4 = Sw_3 - Sw_4$; $Sw_5 = Sw_5 - Sw_6$; $Sw_6 = Sw_5 - Sw_6$

$Sw_3 = 0,905$ $Sw_4 = 0,667$ $Sw_5 = 0,287$ $Sw_6 = 0,2394$

- Grafica Pc Vs Sw • $Sw_{irred.} = 0,2394$



Pc (Psi)	h (ft)	h (Psi)
2	26,26	11,3841
5	65,65	28,4603
10	131,31	56,9244
20	262,62	113,85
50	656,56	284,63
80	1050,50	455,41
100	1313,13.	569,26.

$\delta w = 10 \cdot 0{,}73 (3500 \times 10^{-6})$ $\delta o = \frac{141{,}5}{131{,}5 + 35}$

$\delta w = 1{,}02555\ g/cm^3$

$\delta o = 0{,}84985\ g/cm^3$

$1\ Lb \rightarrow 453{,}592\ g$
$1\ cm^3 \rightarrow 0{,}06102\ in^3$

- $g/cm^3 \rightarrow Lb/in^3$

$1{,}0255 \frac{g}{cm^3} \cdot \left(\frac{1\ cm^3}{0{,}06102\ in^3}\right)\left(\frac{1\ Lb}{453{,}592\ g}\right) \rightarrow \delta w = 0{,}037050844141 \frac{Lb}{in^3}$

$0{,}84985 \frac{g}{cm^3} \cdot \left(\frac{1\ cm^3}{0{,}06102\ in^3}\right)\left(\frac{1\ Lb}{453{,}592\ g}\right) \rightarrow \delta o = 0{,}030704688803 \frac{Lb}{in^3}$

$\delta w - \delta o = 0{,}006346155338 \frac{Lb}{in^3}$

$$h = \frac{P_c}{\delta w - \delta o}$$

$1\ ft \rightarrow 12\ in$
$1\ Psi = \frac{Lb}{in^2}$

4. Si la conductividad de un agua de formación a 23 °C es de 7500 micro Siemens por centímetro; cual es aproximadamente su contenido de NaCl y su resistividad a esa temperatura y a condiciones de un yacimiento que se encuentra a 4500 pies de profundidad. Utilice valores convencionales de las variables que necesite.

$\left[\frac{1}{\Omega} = 10^6 \mu S\right]$

- Temperatura de Laboratorio $= 23°C \rightarrow 73,4°F$
- Conductividad $= 7500 \frac{\mu S}{cm}$
- Profundidad de Yacimiento $= 4500\ ft$

$23°C \cdot 1,8 + 32 = \{73,4°F\}$

$C = 7500 \frac{\mu S}{cm} \cdot \left(\frac{100\,cm}{1\,m}\right)\left(\frac{1/\Omega}{10^6 \mu S}\right)$

$C = 0,75/\Omega m$

$R_{w,R}$ = Resistividad a Temperatura de yacimiento, en ohm·m.

$R_{w,R} = R_{w,L} \cdot \frac{(T_L + 6,77)}{(T_R + 6,77)}$

▶ $R_{w,L}$ = Resistividad a temperatura de yacimiento, en ohm·m.

$R_{w,L} = \frac{1}{C} \rightarrow \frac{1}{0,75/\Omega m}$

$\{R_{w,L} = 1,33\ \Omega \cdot m\}$

$R_{w,R} = (1,33\ \Omega \cdot m) \cdot \frac{(73,74°F + 6,77)}{(164,205°F + 6,77)}$

▶ T_R = Temperatura de Yacimiento

$T_R = 0,01649 \cdot (profundidad) + 90°F$

$T_R = 0,01649 \cdot (4500\ ft) + 90$

$\{T_R = 164,205°F\}$

$\{R_{w,R} = 0,626280\ \Omega m\}$

Para finalizar se determina a partir de la Carta GEN, teniendo en cuenta los valores de T_R y $R_{w,R}$, las ppm de NaCl.

▶ T_L = Temperatura de Laboratorio

$\{T_L = 73,4°F\}$

$\{ppm\ de\ NaCl = 4000\}$

5. Construya la gráfica de permeabilidades relativas basado en la correlación de Hirasaki para un yacimiento mojado por aceite. Suponga los datos que requiera.

$S_{wirr} = 0,15$

$S_{or} = 0,25$

$(K_{ro})_{S_{wirr}} = 0,5$

$(K_{rw})_{S_{or}} = 0,6$

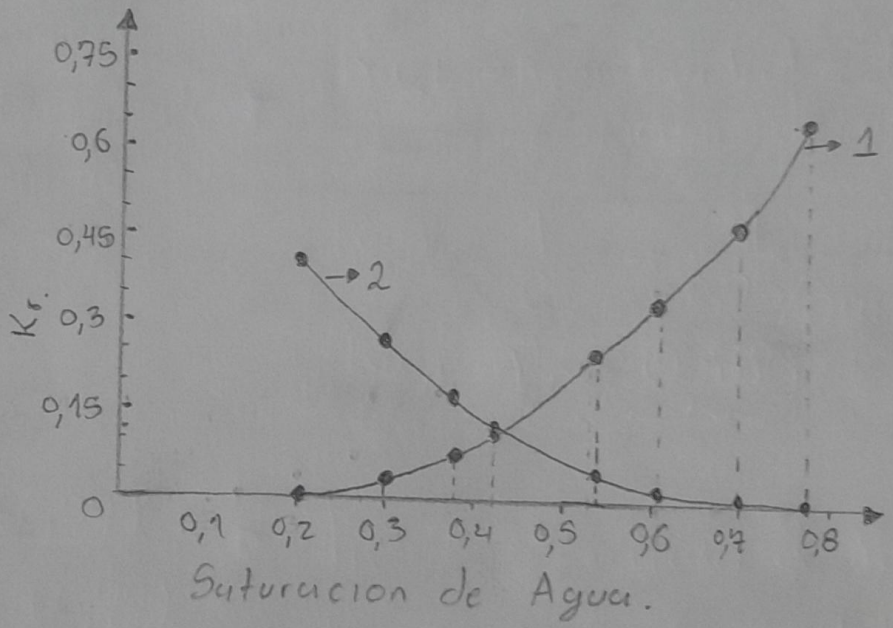
$N_o = N_w = 2,0$

▸ CORRELACION DE HIRASAKI.

$$K_{ro} = (K_{ro})_{S_{wirre}} \left(\frac{1 - S_w - S_{or}}{1 - S_{or} - S_{wirre}} \right)^{N_o}$$

$$K_{rw} = (K_{rw})_{S_{or}} \left(\frac{S_w - S_{wirre}}{1 - S_{or} - S_{wirre}} \right)^{N_w}$$

S_w(%)	K_{ro}	K_{rw}
0,20	0,4201	0,00416
0,30	0,2812	0,0375
0,38	0,1901	0,0881
0,43	0,1422	0,1306
0,54	0,0612	0,2535
0,62	0,0234	0,3681
0,76	0,00347	0,5041
0,78	0,00125	0,6615



6. En cuanto a presión capilar por inyección de mercurio se registraron los datos que se encuentran en la tabla adjunta. Sabiendo que el volumen poroso de la muestra es de 4.0 c.c.. complete la tabla y grafique el % de cada uno de los radios de garganta de poros en micrómetros.

Presión (psi)	Volumen Incremental de Hg (%)	Vol. De Hg acumulado (%)	Radio de garganta de poros (µm)	% de r	Presión (psi)	Vol. Incremental de Hg (%)	Vol. De Hg acumulado (%)	Radio de garganta de poros (µm)	% de r
0.5	0.1	0,1	206,67	2,5	100.0	0.23	1,9	1,03	5,75
1.0	0.35	0,45	103,33	8,75	120.0	0.27	2,17	0,86	6,75
2.0	0.38	0,83	51,67	9,5	150.0	0.31	2,48	0,68	7,75
5.0	0.19	1,02	20,67	4,75	200.0	0.32	2,8	0,52	8
10.0	0.20	1,22	10,33	5	500.0	0.35	3,15	0,21	8,75
20.0	0.22	1,44	5,16	5,5	750.0	0.35	3,5	0,14	8,75
50.0	0.23	1,67	2,06	5,75	1000.0	0.36	3,86.	0,103	9

Volumen Poroso = 4 cm^3

▶ %r = radio de garganta de Poros

▶ r = radio de Garganta de Poros. (µm).

$\sigma_{Hg\text{-}aire} = 465 \frac{Dinas}{cm}$

$\theta_{(Hg\text{-}aire)} = 140°$

$$\%r = \frac{\text{Volumen Incremental de Hg (\%)}}{\text{Volumen Poroso}}$$

$$r = \frac{2\sigma_{(Hg\text{-}aire)} \cdot \cos\theta_{(Hg\text{-}aire)}}{Pc}$$

$$r = \frac{2(465 \frac{Dinas}{cm}) \cdot \cos(140°)}{34473,624}$$

$$\%r = \frac{0,1\%}{4\,cm^3}$$

$r = 0,020665$ cm

$\%r = 2,5$

$r = 206,67$ µm

▶ 0,5 Psi $\left(\frac{Lb}{in^2}\right) \rightarrow \frac{Dina}{cm^2}$

▶ 0,02133 cm → µm

$$0,5 \frac{Lb}{in^2} \cdot \frac{1\ Dina}{2,2481 \times 10^{-6} Lb} \cdot \frac{1\,in^2}{6,4516\,cm^2}$$

$$0,020665 cm \cdot \frac{1 m}{100 cm} \cdot \frac{10^6 \mu m}{1 m}$$

$0,020665$ cm → 206,67 µm.

$0,5 \frac{Lb}{in^2} \rightarrow 34473,624 \frac{Dina}{cm^2}$